

# 多模光纤散斑微小位移的测量

谭吉春

**提 要** 本文提出一种二次曝光照相检测技术,用于测量因径向压力引起的多模光纤斑纹的微小位移,实验方法简便,位移量测量范围在10~1000微米左右。

在用光纤传输模拟信号时、以及在干涉型传感器中,输出光斑的斑纹结构是一种噪声源。因此,多模光纤散斑起因与变化规律的研究受到人们的重视。文献[1]、[2]用带针孔光阑的光电探测器记录光纤散斑场图,分析散斑分布的统计规律;该方法仅限于对场图进行逐点探测。用探测器阵列原则上可对大面积斑纹进行实时记录,但需配以较复杂的电子设备。为了获取较大的信息量,在本文实验中采用照相机记录光纤输出斑纹。我们基于二次曝光原理,提出一种精度较高的测量散斑横向位移的方法,微小位移测量范围达10~1000微米量级。

## 一、测 量 原 理

多模光纤(芯径 $\approx 50\mu\text{m}$ ,  $\text{NA}\approx 0.2$ , 棒号W-32, 武汉光通信所)近场输出图样如图1(a),该场图近似呈圆形轮廓、内含若干呈统计分布的斑纹结构,图1(b)是斑纹的放大照片(1:20)。

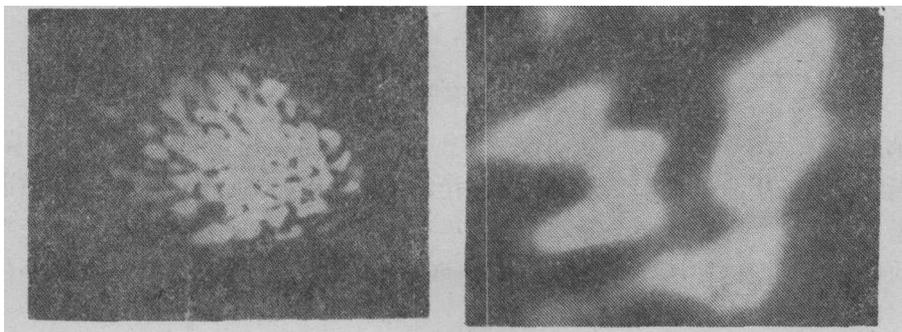


图 1 光纤输出光斑

当光纤弯曲半径变化时,斑纹的分布规律也随之变化;以氦氖激光( $\lambda=0.633\mu\text{m}$ )为光源时,可肉眼观察到弯曲度与斑纹分布的这种应变现象。如图2所示,光纤径向加压使得照片a和b之间在斑纹分布上出现差异。然而,当场图中不同区域的斑纹位移较小且位移方向各不相同,肉眼观察即告失效。我们延用散斑照相测量术<sup>[3]</sup>测物体横

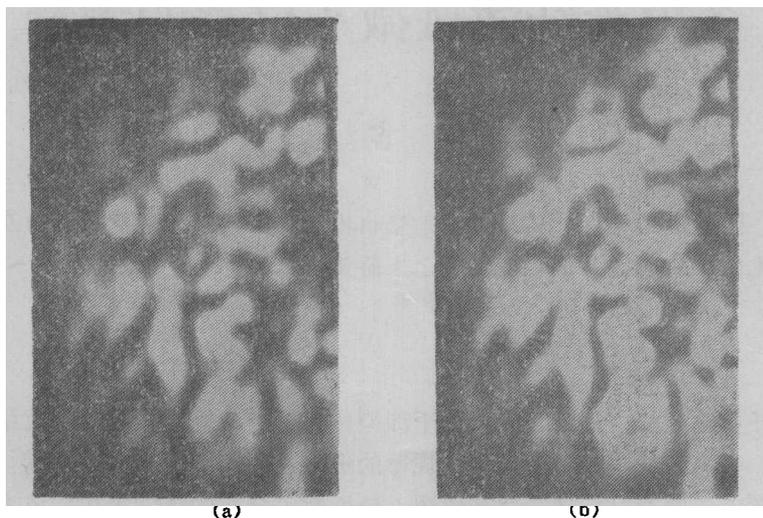


图2 光纤微弯引起斑纹分布变化

向位移的原理,成功地记录和测量出光纤输出场图中斑纹的微小位移。所用的实验装置如图3所示,多模光纤输出斑纹投射到漫射体Q上,使得全息干版(天津I型)BC同

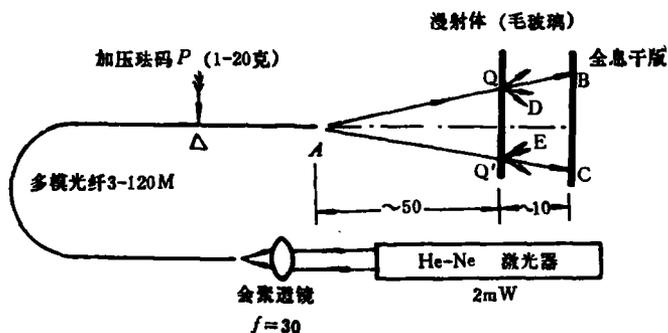


图3 实验装置示意图

时记录到直射光线束AB、AC(即斑纹图样)和散射光线束QD、Q'E等。保持光纤出射端和全息干版的位置不变,在P点加径向压力(用砝码计量)之前和之后进行两次等量曝光。将显、定影后的干版用细小的平行氦氖激光束垂直照射,观察屏上将形成如图4的杨氏条纹。这种杨氏条纹的取向和间距是本实验测算光纤输出斑纹微小位移量的依据,计算公式为<sup>[3]</sup>

$$d_i \sin \phi = n \cdot \lambda \quad (1)$$

式中, $d_i$ 为斑纹位移量,位移方向与条纹取向相垂直; $\phi$ 为条纹偏角, $n$ 为条纹级次, $\lambda \approx 0.63$ 微米,为探测光波长。

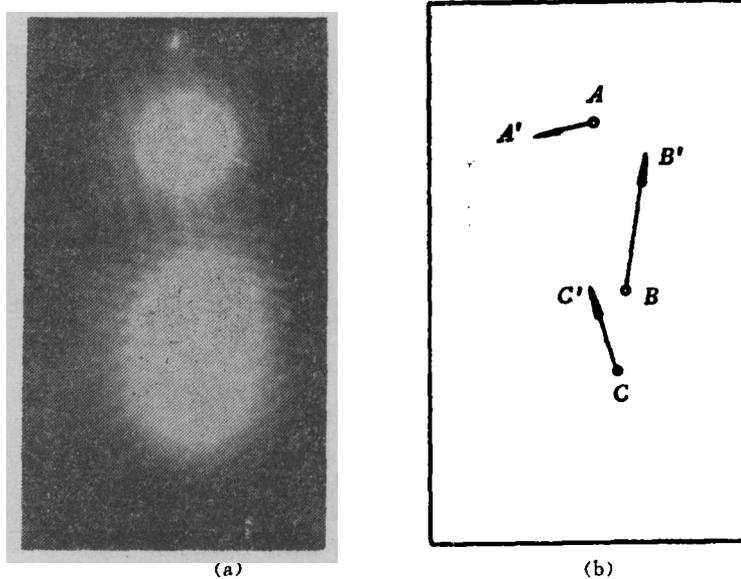


图 4 斑纹照相术再现的杨氏条纹 (比例 1:1)

## 二、实验结果与讨论

当图 3 中径向压力较小, 光纤微弯变形可以回复原状时, 以图 3 实验装置摄取的双曝光负片具有可重复性; 在该负片上任取三点, 以平行光细束投射到所选的三个点, 则在观察屏上得图 4 所示的三组杨氏条纹; 矢量  $AA'$ 、 $BB'$  和  $CC'$  标示 A、B、C 三点斑纹移动的方向, 依(1)式算出的斑纹移动量 (P 点径向压力为 20 克珐码) 请见表 1。

表 1

物理量	位置	A	B	C	备注
条纹偏角 $\phi$ (弧度)		0.127	0.068	0.108	条纹级次 $n=1$
斑纹位移 $d$ (毫米)		0.493	0.891	0.574	$\lambda \approx 0.63$ 微米

**讨论一** 如果用一束探测光沿双曝光负片逐点扫描, 例如沿图 4 中 A 和 C 点的连线扫描, 则观察屏上杨氏条纹的取向沿 AC 连线逐点偏转, 从 A 到 C 累积偏转角为  $\sim 90^\circ$ ; 与此同时, 杨氏条纹间距也随扫描过程而连续变化。这表明, 双曝光负片所记录的有关斑纹位移的信息量十分丰富。

**讨论二** 将多模光纤视为轴线随机弯曲的长圆柱, 其功率耦合系数  $h(\theta)$  为<sup>[4]</sup>

$$h(\theta) = 4n^2 \cdot a^2 \cdot k^2 \cdot C(\theta) / \pi^4 \quad (2)$$

式中,  $n$  为纤芯折射率,  $a$  为芯区半径,  $k$  为波矢,  $C(\theta)$  表示曲率函数的功率谱, 在空间频率  $\Delta\beta = k \cdot \theta_{\max} \cdot \Delta\theta / n$ ,  $\Delta\theta = \pi / 2ka$  范围内:

$$C(\theta) = 2^{1/2} \cdot \bar{R}^2 \cdot a / [(n_1 - n_2) - 1]^{1/2} \quad (3)$$

符号  $\theta$  表模式角,  $\bar{R}$  表光纤曲率的方均根值。

在本实验中, 径向压力  $P$  引起光纤微弯曲, 即引起  $\bar{R}$  的微小变化。由于  $C(\theta)$  近似地与  $\bar{R}^2$  成正比, (2) 和 (3) 式表明, 微弯曲将引起各模式之间功率的耦合, 使多模功率分布发生变化。本实验通过二次曝光法在负片上记录到的斑纹微小位移是多模功率分布变化的直接结果。对于实际光纤, 多模功率分布具有随机性, 研究外部因素 (如局部压力和温度变化等) 对多模功率分布的影响是本实验的应用实例之一。上述研究将为光纤传感器设计提供有参考价值的资料。

图 3 装置不适用于记录较大的斑纹位移量, 这是双曝光照相法的局限性。

感谢邓飞帆教授给予的理论指导。

### 参 考 文 献

- [1] Hikarn. Takahard, Appl Optic, vol 15(3), 609 (1976).
- [2] Tsuji T, et al, Opt & Quan Electron, 16(3), 9~18 (1984).
- [3] J.C. 丹蒂, 激光散斑及其有关现象, P238, 科学出版社 (1981).
- [4] D. 马库塞, 介质光波导理论, P242, 人民邮电出版社 (1982).

## Measurement of Small Displacement of Multimode Optical Fiber Speckles

Tan Jichun

### Abstract

In this paper a double exposure method with a simpler experimental set up is reported for measurement of small displacements of the speckle pattern of multimode optical fiber which were caused by changing the radial pressure on an optical fiber. The measurement of displacement ranges from 10 to 1000  $\mu\text{m}$ .